

УДК 621.791.92

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ИЗ ДИФФУЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

Канд. техн. наук, доц. КОНСТАНТИНОВ В. М.

Белорусский национальный технический университет

Решение научно-технических проблем, позволяющих создавать новые экономно-легированные сплавы и покрытия, обеспечивающие работоспособность машин и оборудования во все более экстремальных условиях эксплуатации, было и остается актуальным для большинства промышленно развитых стран. В настоящее время существует острая потребность в отечественных экономно-легированных специализированных сплавах наплавки и напыления. К основным недостаткам традиционных сплавов для защитных покрытий (порошков, проволок, наплавочных электродов) относятся: ограниченность экономически доступной номенклатуры сплавов, их универсальность и соответственно избыточность эксплуатационных свойств, а также высокая стоимость. Важным моментом в современных условиях является импортность указанных сплавов. Значительная часть анализируемых сплавов относится к высоколегированным сплавам на никелевой, кобальтовой, реже железной основах. Большинство из них были разработаны 10–50 лет назад и не отвечают современным экономическим и техническим требованиям.

Таким образом, необходимо не назначать сплавы из ограниченного, а в ряде случаев устаревшего, перечня серийно выпускаемых, а оперативно проектировать и изготавливать ограниченные партии высокоэффективных сплавов для конкретных производственных ситуаций. Один из путей решения обозначенной проблемы – создание комплекса технологий получения специализированных наплавленных слоев из диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов [1].

Системный анализ защитных слоев из ДЛ-сплавов. Анализ наплавленного защитного слоя с системных позиций обнаруживает наличие многоуровневой иерархической структуры,

элементы которой представляют собой единое целое, состоящее из составных частей, выполняющих общую задачу (рис. 1). Взаимное влияние отдельных составных элементов друг на друга и на систему в целом предопределяет необходимость комплексного анализа всей системы и ее отдельных элементов. Техническая система «восстановительно-упрочняющий защитный слой» является сложноорганизованной иерархической системой, состоящий из элементов, закономерно структурированных в пространстве (упрочняемая деталь → узел → машина) и во времени (технология нанесения защитного покрытия). По сути, речь идет о двух самостоятельных, но активно взаимодействующих системах: пространственной и временной (технология получения защитного слоя) [2].

Пространственная структура системы описывает пространственное (конструктивное) взаимодействие различных элементов (рис. 1). Упрочняющий слой (анализируемый элемент системы П-4.1) следует рассматривать как часть системы более высокого уровня (элемент П-3 – деталь с упрочняющим слоем). Очевидно, что собственно упрочненная деталь иерархически подчинена надсистеме П-2. Указанная подчиненность предопределяет доминирующую роль надсистемных требований к упрочняемой детали. Иначе говоря, свойства упрочненной детали определяются условием эксплуатации. Видимая тривиальность этого утверждения, тем не менее, позволяет системно проанализировать условия эксплуатации упрочненных деталей (надсистема П-2). Возможны два вида организации надсистемы П-2: деталь в составе трибопары и деталь под воздействием внешнего агрессивного воздействия. Соответственно все многообразие деталей, подлежащих восстановлению и упрочнению, можно подразделить на две большие группы (надсистемы П-2.1 и П-2.2).

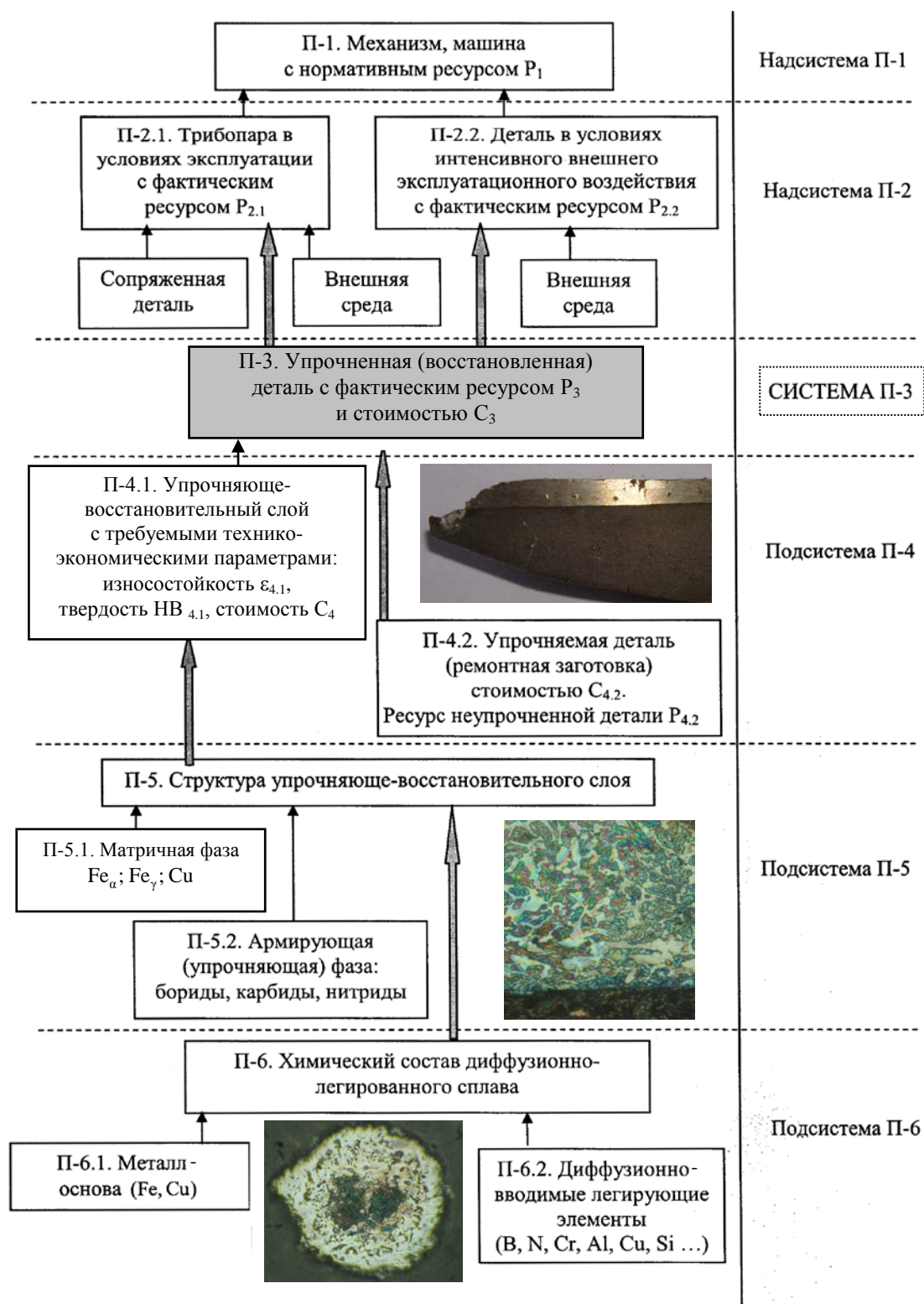


Рис. 1. Структура системы «деталь с упрочняющим слоем»

Надсистема П-2.1. Подвергаемая упрочнению деталь в этом случае является частью трибосопряжения, которое входит в состав машины или механизма. Деталь находится под

отрицательным воздействием контртела и окружающей среды. Примерами таких трибосопряжений служат различные подшипники скольжения, подвижные соединения, криво-

шипно-шатунные механизмы и др. Выделим характерные особенности рассматриваемых деталей:

- поскольку восстанавливаемая деталь является частью механизма, ее ресурс должен быть согласован с ресурсом всего агрегата, т. е. ресурс детали должен быть кратен межремонтному ресурсу агрегата. Таким образом, минимальное рациональное повышение ресурса восстанавливаемой детали должно быть двукратным по отношению к исходной детали. На наш взгляд, двукратное, а тем более трехкратное повышение ресурса восстанавливаемой детали по отношению к новой – задача чрезвычайно дорогая и технически, и экономически. Представляется целесообразным при восстановлении этих деталей обеспечивать ресурс, эквивалентный ресурсу новой детали: $P_3 \approx P_1$. В этом случае единственным путем повышения эффективности восстановительно-упрочняющей технологии является снижение сырьевых и энергетических затрат на восстановление деталей при сохранении требуемого уровня эксплуатационных свойств;

- поскольку рассматриваемая деталь – часть трибосопряжения, необходимо согласовывать ресурс трибосопряжения и восстановленной детали ($P_{2.1}$). С этой точки зрения, излишнее повышение ресурса восстановленной детали не всегда целесообразно. Повышение физико-механических свойств поверхности восстановленной детали часто ведет к интенсификации изнашивания сопрягаемой детали, следовательно, к уменьшению ресурса всего трибосопряжения, а затраты на подобное упрочнение оказываются неоправданно высокими.

Надсистема П-2.2. Для деталей второй группы характерно отсутствие трибопары в традиционном понимании, они подвержены только разрушающему воздействию внешней среды. Характерным примером таких деталей являются рабочие органы почвообрабатывающего оборудования (лемеха плугов, лапы окучников и т. д.) [3]. К этой же группе следует отнести рабочие инструменты штамповой оснастки (пуансоны, ножи), электроды контактной сварки ЖБИ, детали дробебетных аппаратов и др.

Особенности деталей второй группы:

- детали подвержены интенсивному внешнему воздействию, как правило, изнашивающего характера. Интенсивность изнашивания де-

талей велика. Так, за сезон на тяжелых почвах полностью изнашиваются несколько комплектов плужных лемехов, а стойкость дробебетных лопаток из серого чугуна не превышает одной-двух смен. Кроме того, работоспособность агрегата напрямую лимитирована ресурсом этой быстроизнашиваемой детали, так как $P_1 \gg P_{2.2}$ (рис. 1);

- детали являются быстросъемными и затраты на замену изношенной детали в большинстве случаев малы, относительно дешевы, поэтому применение дорогостоящих сплавов для упрочнения экономически нецелесообразно.

Деталь с нанесенным защитным слоем (П-3), в свою очередь, служит надсистемой для низлежащих звеньев (подсистемы П-4, П-5, П-6), определяющих ее характеристики. Ключевой подсистемой в этом блоке является структура упрочняюще-восстановительного слоя (П-5). Принципиально возможны два основных вида структур: гомогенные (П-5.1) и гетерогенные (П-5.1 + П-5.2). Наибольшее распространение в силу высоких эксплуатационных свойств для указанных целей получили гетерогенные слои и покрытия. Анализ литературных данных и собственные исследования позволяют выделить следующие основные пути гетерогенизации структуры указанных сплавов (рис. 2.) [4]:

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных пресыщенных твердых растворов и их последующая гетерогенизация термической обработкой;
- сохранение исходной композиционности строения наносимых частиц при отсутствии их полного расплавления в процессе формирования покрытия (газотермическое напыление, электроконтактная приварка).

Факторами, определяющими структурообразование упрочняющего слоя, являются химический состав и технология формирования слоя (подсистема П-6).

Выполненный анализ пространственной структуры технической системы позволяет классифицировать ее как многоуровневую иерархическую, с жесткой доминантой надсистемных требований. Приоритетное влияние надсистемных требований (эксплуатационные свойства упрочненной детали, согласованные с ресурсом всего агрегата) определяет весь смысл существования анализируемой системы.

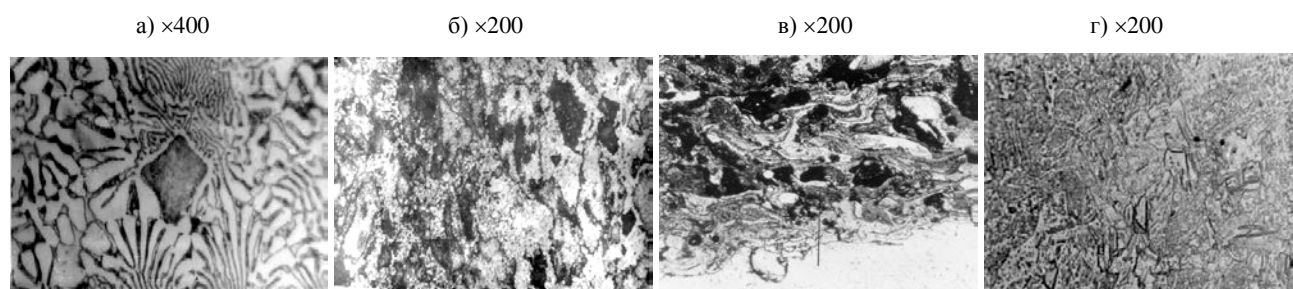


Рис. 2. Гетерогенные структуры износостойких слоев и покрытий из ДЛ-сплавов: а – наплавленный слой из борированной стружки серого чугуна; б – покрытие, полученное электроконтактной приваркой борированного порошка железа; в – газотермическое антифрикционное покрытие из диффузионно-легированной бором и медью порошка стружки серого чугуна; г – наплавленный слой из диффузионно-легированной хромом и бором медной проволоки после закалки и отпуска

Свойства защитного слоя (подсистема П-4), его структура (подсистема П-5) и химический состав (подсистема П-6) определяются в конечном счете надсистемными требованиями всего механизма (надсистема П-1). В предложенных системных позициях, наряду с традиционным учетом вида изнашивания, существенную роль играют согласование ресурсов и экономических показателей детали и всего механизма, что позволяет реализовать адаптивное, гибкое проектирование сплава и технологии для конкретной производственной ситуации и достигать требуемого результата упрочнения с минимальными затратами.

Технико-экономический анализ легирующих элементов в ДЛ-сплавах. В сплавах для защитных слоев и покрытий находит применение широкий круг легирующих элементов (ЛЭ):

- сплавы на Fe-основе: В, С, N, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, W;
- сплавы на Cu-основе: В, Al, Si, P, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Sn, Pb.

Частота и эффективность применения этих элементов различны, большинство из которых можно вводить в сплавы диффузионным путем. Однако для ряда элементов существуют известные ограничения по возможности диффузионного введения [5]. Такие ЛЭ в анализируемой ситуации рассматриваются для случая их предварительного металлургического введения в сплав-основу. Разнообразие применяемых в наплавочных сплавах элементов требует их классификации. Основополагающими классификационными признаками являются следующие:

- характер влияния легирующего элемента на свойства сплава;

- способ введения легирующего элемента в сплав;

- стоимость легирующего элемента в сплаве.

Окончательный химический состав сплава формируется в результате суммирования двух групп ЛЭ. Наряду с элементами, целенаправленно вводимыми методами химико-термической обработки (ХТО), как правило, в сплаве присутствуют элементы априори, введенные в металлическую основу. Так, при использовании в качестве основы сплава измельченной стружки серого чугуна ими являются С, Si, Mn, а при применении стружки алюминиевой бронзы – Fe, Al и т. д. Эти элементы совместно с диффузионно-вводимыми ЛЭ оказывают комплексное влияние на свойства сплава и существенно расширяют возможности получения специальных свойств наплавов, особенно при использовании термической обработки [6].

По характеру влияния на свойства сплава для защитных покрытий легирующие элементы дифференцированы на легирующие элементы, обеспечивающие требуемые технологические свойства при формировании наплавленного слоя, и элементы, которые обеспечивают эксплуатационные свойства полученного покрытия. Следует отметить, что значительная часть вводимых легирующих элементов оказывает комплексное влияние как на технологические, так и на эксплуатационные свойства сплава. Однако такая дифференциация влияния легирующих элементов оправдана стремлением четко обозначить ведущую функцию элемента в сплаве и позволяет синтезировать оптимальные по составу и свойствам сплавы.

К важнейшим технологическим свойствам для большинства анализируемых способов

формирования наплавленного слоя относятся температура плавления сплава и связанные с ней жидкотекучесть и усадка при кристаллизации. Наибольшее снижение температуры плавления характерно для случая образования эвтектических сплавов [1]. Наибольший интерес представляют В, С, Р, Si, Ti. Многокомпонентное легирование в ряде случаев позволяет существенно снизить температуру плавления. Так, минимальная температура ликвидус системы Fe – В – С составляет 1100–1097 °С [1].

Важнейшим технологическим свойством большинства наплавочных сплавов является способность к самофлюсованию. Процесс взаимодействия металлической подложки с частично и полностью расплавленным наносимым сплавом может протекать активно только после удаления с их поверхности оксидных пленок, препятствующих образованию активной связи. Это обеспечивается наличием в составе сплава компонентов, имеющих высокую величину термодинамического потенциала образования оксида, значительно большую, чем у наплавляемого металла. Для обеспечения эффективной самофлюсуемости порошка при наплавке необходима повышенная концентрация флюсующе-раскисляющих элементов в поверхностном слое. К числу элементов, активно восстанавливающих оксидные пленки, относятся Н, В, С, Mg, Al, Si, S, Ti, Р, Mn. Наибольшее применение для получения самофлюсующихся сплавов получили В, Si, реже – Mn [7].

Под эксплуатационными свойствами ДЛ-сплава понимают свойства сформированного и обработанного на детали слоя или покрытия, обеспечивающие требуемый срок эксплуатации детали в условиях агрессивного внешнего воздействия. Библиографический массив исследований по рациональному выбору легирующих элементов хронологически глубок и весьма обширен. Более 30 лет назад Л. С. Лившиц отмечал, что наиболее распространенными легирующими элементами для анализируемых сплавов являются С, Cr, Mn, Si и В [8]. В настоящее время перечень применяемых легирующих элементов значительно расширился, однако по-прежнему указанные выше элементы занимают ведущее положение вследствие, в первую очередь, технико-экономических соображений. Ранее выполнена систематизация

данных (авторских и литературных) по влиянию распространенных легирующих элементов на эксплуатационные свойства [9].

Разделение легирующих элементов по стоимости обусловлено необходимостью учета технико-экономических факторов при разработке ДЛ-сплава. В общем случае для ценовой дифференциации ЛЭ применима шкала, разработанная с учетом повышающих коэффициентов [10]. Существенным отличием в нашем случае является необходимость учета затрат на диффузионное введение элемента. Так, затраты на диффузионное введение сравнительно недорогого хрома существенно выше затрат на диффузионное легирование относительно дорогим бором.

Технико-экономическую эффективность использования легирующего элемента предложено оценивать следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{лэ}} = \Phi / C_{\text{лэ}} K_{\text{лэ}}, \quad (1)$$

где Φ – функциональная эффективность легирования на единицу массы легирующего элемента. Речь идет о требуемом изменении эксплуатационных свойств разрабатываемого сплава, например повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и т. д.; $K_{\text{лэ}}$ – содержание легирующего элемента в сплаве (% мас.); $C_{\text{лэ}}$ – стоимость единицы массы легирующего элемента в сплаве.

Величина $C_{\text{эл}}$ зависит от исходной цены компонентов (металлические порошки или алюмотермические смеси) и затрат на диффузионное легирование.

В случае многокомпонентного легирования формула (1) принимает вид

$$\mathcal{E}_{\text{лэ}}^{\Sigma} = \frac{\Phi^{\Sigma}}{\sum (C_i^{\text{лэ}} K_i^{\text{лэ}})},$$

где Φ^{Σ} – суммарная функциональная эффективность легирования комплексом легирующих элементов; $C_i^{\text{лэ}}$ – стоимость единицы массы i -го легирующего элемента; $K_i^{\text{лэ}}$ – содержание i -го легирующего элемента в сплаве (% мас.).

В качестве примера оценки технико-экономической эффективности легирования в табл. 1 приведены данные для ДЛ-порошков, применяемых для износостойких слоев. Очевид-

но, что технико-экономическая эффективность диффузионного легирования бором порошка стали 45 для анализируемых условий существенно выше, чем при использовании высоколегированных дорогостоящих сплавов.

Разработанный подход позволяет оценивать технико-экономическую эффективность упрочняющих фаз, применяемых в износостойких сплавах. Полученные результаты, нельзя трактовать как однозначный вердикт по отношению к тому или иному карбиду или бориду. Эффективность упрочняющего действия высокотвердых фаз определяется многими факторами. Однако информация о технико-экономической эффективности в первом приближении позволяет выбирать наиболее перспективные схемы легирования. С этих позиций наряду с традиционными боридами железа и карбидами хрома перспективными следует признать карбиды и бориды титана, а также нитриды переходных металлов. Легированный бором и хромом цементит, несмотря на свою привлекательность в технико-экономических расчетах, имеет существенные недостатки, в первую очередь, высокую хрупкость.

Анализ выполненных работ свидетельствует об эффективности применения в качестве основы сплава измельченной стружки серых чугунов, сферических отходов белых чугунов после электроэрозионной обработки, медных кабельных отходов, бронзовой стружки. Стоимость диффузионно-легированного сплава в этом

случае минимальна, а имеющиеся в нем легирующие элементы открывают широкие возможности получения требуемых свойств покрытий [11–13].

Технологические основы диффузионного легирования порошковых и проволочных материалов для защитных слоев. Диффузионное легирование микрообъектов (порошков, проволоки и др.) является сравнительно новой и бурно развивающейся областью техники. Выполненный комплекс исследований позволил разработать технологию диффузионного легирования металлических порошков и проволок для наплавки и напыления. Получаемые ДЛ-сплавы имеют композиционное строение, состоят из ядра (сердцевины) и диффузионной оболочки, содержащей флюсуще-упрочняющие элементы. Химический и фазовый состав ДЛ-сплавов можно регулировать технологическими режимами диффузионного легирования. Эффективность применения ДЛ-сплавов обусловлена их преимуществами по сравнению с другими, например:

- возможностью введения легирующих элементов в широком диапазоне концентраций;
- отсутствием выгорания легирующих элементов;
- наличием градиента химического состава по сечению частиц порошка;
- возможностью получения наплавленных слоев с высокими эксплуатационными свойствами.

Таблица 1

Технико-экономическая эффективность применения некоторых ЛЭ при создании диффузионно-легированных наплавочных порошков для износостойких слоев

Марка порошка. Комплекс ЛЭ, % мас.	Анализируемые эксплуатационные свойства наплавленных слоев					
	Твердость		Износостойкость в условиях абразивного изнашивания		Износостойкость в условиях сухого трения скольжения	
	Повышение твердости ΔHV	Технико-экономическая эффективность легирования	Повышение износостойкости $\Delta \epsilon_{отн}^{абр}$	Технико-экономическая эффективность легирования	Повышение износостойкости $\Delta \epsilon_{отн}^{ок}$	Технико-экономическая эффективность легирования
ПЖР-С1, 4.6В	397	11,5	1,9	0,17	3,5	0,304
ПР-45Р4 4.76 В; 0.45 С	710	61,7	2,6	0,23	4,5	0,391
ПР-Х18Н9Р4, 18.0Сr; 9.0 Ni; 5,6 В	564	5,2	3,8	0,03	3,9	0,036
ПР-10Р6М5 (борир.) 6.0 W; 5.0 Mo; 3.8 Cr; 1.5V; 1.0C; 5.6В	1520	6,1	5,6	0,02	4,2	0,017

Первый вариант технологии предусматривал диффузионное легирование бором и кремнием стального порошка в порошковой несвязанной смеси на основе карбида бора и карбида кремния с последующей магнитной сепарацией [14]. В начале 1990-х гг. указанная технология была усовершенствована и получила промышленное внедрение на ряде предприятий Беларуси. Наличие существенных недостатков сдерживало ее широкое применение. Это обусловило необходимость модернизации технологии в энергосберегающем направлении.

Диффузионное легирование сплава-основы (металлического порошка, стружки) проводится в скоростном, активированном режиме во вращающемся герметизируемом контейнере с расходуемой или регенерируемой порошковой смесью. Разработанная технологическая схема позволяет в 4–5 раз увеличить скорость диффузионного легирования, доведя ее до 6–8 % легирующего элемента в час [15].

Полученное существенное ускорение диффузионного легирования обусловлено интенсификацией всех элементарных процессов ХТО в реакционном объеме вращающегося контейнера. Впервые доказан, всесторонне изучен и реализован на практике эффект ускорения диффузионных процессов как в насыщаемой, так и в насыщающей средах, обусловленный циклической пластической деформацией периферийных зон порошковых частиц. Плотность дислокаций в контактной зоне при этом возрастает на 50–65 %. Многократная интенсификация ХТО, а также недорогие насыщающие смеси, в том числе алюмотермические, обеспечивают экономическую эффективность процесса диффузионного легирования. Продолжительность диффузионного легирования порошка, как правило, не превышает полутора часов [15].

Диффузионное легирование проволоки осуществляется термоциклическим прямым электронагревом в насыщающей среде. Возможна как дискретная, так и непрерывная обработка проволоки [16]. Электронагрев позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения, так как при быстром нагреве фазовые превращения смещаются в область более высоких температур и их продолжительность снижается. Это позволяет повысить температуру процесса без ущерба для структуры глубинных слоев насыщаемого металла на

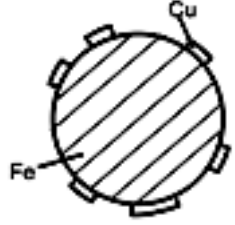
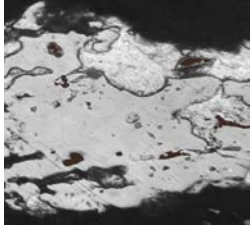
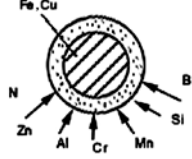
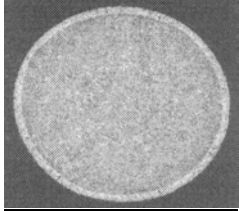
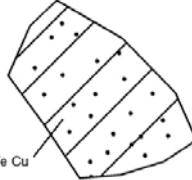
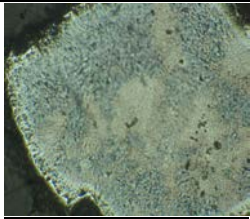
150–200 °С, что значительно интенсифицирует процесс насыщения. Кроме того, процесс насыщения ускоряет многократное прохождение через границу α – γ -перехода в процессе термоциклирования, которое вызывает значительное измельчение зерна, повышение плотности дислокаций и концентрации вакансий.

Существенным отличием электрохимико-термического легирования стальной проволоки является формирование диффузионного слоя с низколегированными фазами преимущественно твердорастворного типа с малым количеством карбидов. Толщина диффузионного слоя при этом достигает 80–100 мкм, качество поверхностного слоя не ухудшается. При электронагреве также изменяются кинетика и механизм образования аустенита. Если при медленном нагреве аустенит образуется только в результате диффузионных процессов, то при быстром нагреве возможно бездиффузионное образование аустенита.

Диффузионное легирование является регламентированным и в зависимости от требований может быть поверхностным, частичным или объемным (табл. 2). Поверхностное легирование обеспечивает повышенную концентрацию элементов в периферийных участках порошка или проволоки и целесообразно для элементов, обеспечивающих технологические свойства наносимого слоя (B, Si, Mn). В разработанных технологиях поверхностное легирование активно применяется при борировании стальных порошков для обеспечения самофлюсующести при наплавке и повышения износостойкости, а также марганцировании, силицировании, алитировании стальной проволоки для повышения сварочно-технологических свойств. Объемное легирование способствует равномерному распределению диффузионно-вводимого элемента и предпочтительно для элементов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные свойства сплава. Оно применяется для азотирования чугуна порошка для износостойких слоев, силицирования бронзового порошка для антифрикционных слоев. Частичное легирование позволяет припекать к поверхности стального или чугуна порошка микрочастицы элементов, объемное или поверхностное легирование которыми проблематично. Оно нашло применение при припекании медных микрочастиц к поверхности чугуна порошка для получения антифрикционных покрытий [13].

Таблица 2

Классификация диффузионного легирования микрообъектов (электродов и порошков)

Степень легирования	Схема	Фото микроструктуры	Пример реализации
Частичное легирование			Частичное легирование медью стружки белого чугуна и последующее газотермическое нанесение антифрикционных покрытий [13]
Поверхностное легирование			Диффузионное легирование стальной проволоки алюминием и последующая электродуговая наплавка или напыление [16]
Объемное легирование			Сквозное диффузионное легирование металлических порошков азотом для наплавки плужных лемехов [3]

ВЫВОД

Созданный методический подход, разработанное технологическое и аппаратное оснащение открывают широкие перспективы гибкого синтеза экономно-легированных сплавов для защитных покрытий с активным использованием отечественной сырьевой базы. Разработанные технологические основы диффузионного легирования наплавочных сплавов позволяют получать широкий спектр составов, структур для различных условий эксплуатации (абразивное, адгезионное, окислительное, электроэрозийное изнашивание и др.). К настоящему времени разработано и внедрено на предприятиях Беларуси более десяти технологических процессов, технических условий упрочнения различных быстроизнашиваемых деталей ДЛ-сплавами. Потенциальные возможности этого направления велики, что позволяет прогнозировать расширение работ в указанной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ворошнин, Л. Г.** Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л. Г. Ворошнин,

Ф. И. Пантелеенко, В. М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

2. **Константинов, В. М.** Ресурсоэкономный потенциал применения диффузионно-легированных сплавов в реновационных технологиях / В. М. Константинов, Ф. И. Пантелеенко // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 2. – С. 21–27.

3. **Жабуренко, С. Н.** Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугуна и последующей термической обработкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / С. Н. Жабуренко. – Новополоцк, 2004. – 177 с.

4. **Восстановление** деталей машин: справ. / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В. П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.

5. **Многокомпонентные** диффузионные покрытия / Л. С. Ляхович [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1974. – 288 с.

6. **Константинов, В. М.** Проблемы термической обработки наплавленных деталей горношахтного оборудования / В. М. Константинов, В. Г. Дашкевич // Горная механика. – 2005. – № 2. – С. 92–96.

7. **Новые** ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф. Г. Ловшенко [и др.]. – М.: Энергоатомиздат; Гомель: БелГУТ, 2004. – 519 с.

8. **Лившиц, Л. С.** Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гриберг, Э. Г. Куркумели. – М.: Машиностроение, 1969. – 188 с.

9. **Константинов, В. М.** Физико-химический анализ элементов в защитных покрытиях из диффузионно-

легированных сплавов / В. М. Константинов // Вестник ПГУ. Сер. В. – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 15–25.

10. **Гуляев, Б. Б.** Синтез сплавов: основные принципы. Выбор компонентов / Б. Б. Гуляев. – М.: Металлургия, 1984. – 160 с.

11. **Авсиевич, А. М.** Технология формирования износостойких газотермических покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08, 05.03.01 / А. М. Авсиевич. – Минск, 2003. – 172 с.

12. **Константинов, В. М.** Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугуновой стружки / В. М. Константинов [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 137 с.

13. **Фруцкий, В. А.** Антифрикционный материал из легированной бором и медью чугуновой стружки для под-

шипников скольжения: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / В. А. Фруцкий. – Новополоцк, 2006. – 156 с.

14. **Пантелеенко, Ф. И.** Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них / Ф. И. Пантелеенко. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

15. **Штемпель, О. П.** Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / О. П. Штемпель. – Новополоцк, 2003. – 166 с.

16. **Семенченко, М. В.** Электрохимикотермическая обработка проволоки для защитных покрытий: дис. ... магистра техн. наук: 05.16.01 / М. В. Семенченко. – Новополоцк, 2003. – 76 с.

Поступила 10.01.2007

УДК 658.562

МЕТОДИКА АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА РУП «БМЗ»

Канд. техн. наук, доц. СЕРЕНКОВ П. С., канд. техн. наук АНДРИАНОВ Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

В условиях сложившегося производства и системы управления потенциал для улучшения заключен в глубоком, фундаментальном анализе процессов с применением статистических методов высокого уровня, позволяющих определить необходимые рычаги влияния на ход его протекания и возможные пути оптимизации.

Основной целью исследования процессов является уменьшение потерь за счет недостижения требуемого качества продукции. Под повышением качества подразумевается комплексное управление показателями результативности процесса (параметрами математического ожидания и рассеяния) в целях достижения оптимальных значений с точки зрения требований и затрат.

Методика проведения исследований. Цель разработки данной методики – получить инструмент (информационную модель качества

продукции), позволяющий на основании фактических данных определять причинно-следственные зависимости «влияющие факторы – показатели качества» процессов, прогнозировать значения показателей качества в зависимости от условий и на основании этого принимать эффективные корректирующие и предупреждающие действия.

Использованы статистические методы анализа данных различного уровня, что позволяет извлечь максимальное количество необходимой информации при минимальных затратах на сбор и обработку исходных данных.

Для построения информационной модели качества продукции необходимо решить комплекс задач:

- определить показатель качества продукции (процесса);
- идентифицировать факторы, влияющие на качество продукции (процесса);